

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«УЖГОРОДСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»
ФІЗИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
Кафедра теоретичної фізики

ЮРИК ІВАН ОЛЕКСАНДРОВИЧ

**СИНТЕЗ ТА УНІКАЛЬНІ ВЛАСТИВОСТІ ФУЛЕРЕНІВ – ТЕМАТИКА
ФАКУЛЬТАТИВНИХ ЗАНЯТЬ З ФІЗИКИ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ
МОТИВАЦІЇ УЧНІВ**

014.08 Середня освіта (Фізика та інформатика)

Кваліфікаційна робота бакалавра

Науковий керівник:
Васильєва Ганна Володимирівна
Доцент кафедри теоретичної фізики
ДВНЗ "Ужгородський національний
університет", к.х.н.

Ужгород–2025

Реєстрація _____

« _____ » _____ 2025р. _____ **Сергій ГЕДЕОН**
(підпис відповідальної особи) (прізвище та ініціали)

Кваліфікаційна робота допущена до захисту

Завідувач кафедри

_____ **Мирослав КАРБОВАНЕЦЬ**
(підпис) (ініціали, прізвище)

(науковий ступінь, вчене звання)

« _____ » _____ 2025р.

Рецензент _____ **Михайло ПОП**
(підпис)

_____ **К.фіз-мат.н.**
(науковий ступінь, вчене звання)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота «Синтез та унікальні властивості фулеренів – тематика факультативних занять з фізики для підвищення мотивації учнів» присвячена пошуку цікавих і пізнавальних тем для факультативних занять із фізики. Мета роботи була висвітлити унікальні властивості фулеренів і описати способи використання даної теми, як тематики факультативних занять з фізики для підвищення мотивації учнів

Для досягнення мети були поставлені такі завдання:

Визначити і описати основні алотропні видозміни карбону.

Описати особливості підліткового віку і важливість мотивації для підлітків

Провести моделювання структури фулерену за допомогою вільного програмного застосунку.

У роботі зроблено опис алотропних видозмін карбону, місце фулеренів серед них. Також у роботі описано особливості підліткового віку і способи підвищення мотивації учнів. Проведено моделювання структури фулерену C₆₀ з використанням програмного забезпечення.

Робота складається із вступу, двох розділів та висновків. Робота написана на 38 сторінках, містить 15 рисунків і 17 літературних посилань.

Ключові слова: графен, фулерен, карбон, факультативні заняття

ABSTRACT

The qualification work "Synthesis and unique properties of fullerenes - topics for optional physics classes to increase student motivation" is dedicated to finding interesting and informative topics for optional physics classes.

The goal of the work was to highlight the unique properties of fullerenes and to describe ways to use this topic as a subject for optional physics classes to increase student motivation. To achieve this goal, the following tasks were set: Define and describe the main allotropes of carbon. Describe the characteristics of adolescence and the importance of motivation for teenagers. Conduct modeling of the fullerene structure using a free software application.

The work provides a description of the allotropic modifications of carbon, including the place of fullerenes among them. It also describes the characteristics of adolescence and ways to enhance student motivation. A modeling of the structure of fullerene C₆₀ was conducted using software. The work consists of an introduction, two sections, and a conclusion. It is written over 38 pages and contains 15 figures and 17 literary references.

Keywords: graphene, fullerene, carbon, faculty training

ЗМІСТ

1. ВСТУП

РОЗДІЛ 1. Алотропні видозміни карбону.....	6
1.1. Алмаз, графіт, графен.....	6
1.2. Нанотрубки карбону, фулерени.....	14
РОЗДІЛ 2. Особливості викладання фізики у середній школі.....	21
2.1. Особливості світосприйняття підлітків.....	21
2.2. Підвищення мотивації учнів.....	24
2.3. Вільний програмний застосунок Molview.....	34
3. ВИСНОВКИ.....	37
4. ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.....	38

ВСТУП

Виховання молоді – це складне і відповідальне завдання. Помилки педагогів іноді стають помітні тільки через певний період часу, тоді коли люду доводиться стикатись із їх наслідками. У різних закладах освіти різні особливості викладання уроків, але є певні спільні ознаки. Наприклад розвиток засобів комунікації зробив спілкування між людьми поверхневим. З розвитком сучасних технологій яскраві короткі відео в соціальних мережах відволікають увагу підлітків і тому доводиться за неї боротись. Таким чином сучасний вчитель має бути готовим до зустрічі з можливими труднощами на своєму шляху. Викладання фізики дітям це складне завдання. На фізику виділено небагато годин, і фізика часто викладається разом з астрономією як інтегрований курс — «Фізика і астрономія». На допомогу вчителю приходять факультативні заняття. Але тут виникає інша проблема – мотивація учнів до занять з фізики. Вирішення цього завдання вимагає врахування вікових, психологічних та пізнавальних характеристик учнів, а також цікавих тем занять. У цьому контексті – тема дослідження фулеренів є дуже перспективною темою. Фулерен — це особлива форма карбону, у якій атоми розташовані у вигляді порожнистих сфер, еліпсоїдів або трубок. Найвідоміший із них — фулерен C_{60} — має форму, що нагадує футбольний м'яч. У цій формі 60 атомів вуглецю утворюють 20 шестикутників і 12 п'ятикутників, створюючи геодезичну сферу. Таким чином наша робота присвячена висвітленню теми Синтез та унікальні властивості фулеренів – тематика факультативних занять з фізики для підвищення мотивації учнів.

РОЗДІЛ 1. Алотропні видозміни карбону

1.1. Алмаз, графіт, графен

Карбон відіграє важливу роль у нашому житті, науці і техніці. Це чотиривалентний неметал із масою стабільного ізотопу, рівною 12. Відомі також радіоактивні ізотопи карбону, серед яких найбільш-відомим є ^{14}C .

Карбон – це елемент з якого побудовані усі живі організми на нашій планеті Земля. Крім того карбон широко використовується у ювелірній промисловості (діаманти), у техніці (карбонові поверхні і запчастини), у пристроях накопичення енергії, у атомній промисловості для очищення повітря від забруднень, у фармації (вугільні таблетки) і це ще не повний перелік сфер використання даного елемента. Різні унікальні властивості карбонових матеріалів зумовлені особливостями його синтезу і хімічних властивостей.

Чотиривалентність атома Карбону пояснюється роз-спарюванням електронів, тобто переходом одного $2s$ -електрона на енергетично вищий підрівень $2p$.

Для переходу в збуджений стан потрібна енергія збудження. Такий стан не пояснює геометрію молекули, оскільки чотири зв'язки повинні бути ідентичними.

Тобто орбіталі, що надані для зв'язку, мають «вирівнятися» за формою й енергією, і на цей процес потрібно затратити енергію. Уніфікацію різних орбіталей називають гібридизацією атомних орбіталей. Утворені гібридні орбіталі необхідно розглядати як гібриди первинних орбіталей.

Гібридизацію однієї s -орбіталі і трьох p -орбіталей називають sp^3 -гібридизацією орбіталей. Утворені при цьому чотири орбіталі є sp^3 -гібридними орбіталями. Вони утворюють просторову структуру у формі тетраедра з кутом між орбіталями $109,5^\circ$. Це структура алмазу.

В алмазі від кожного атома Карбону виходять чотири однакових sp^3 -орбіталі, які утворюють чотири міцні ковалентні зв'язки з чотирма сусідніми

атомами Карбону. Тривимірна «гігантська молекула», яка виникла в результаті цього, має високу твердість і високу точку плавлення.

Алмаз (діамант) — природна модифікація з атомними кристалічними ґратками, найтвердіший серед інших речовин. Це безбарвні прозорі кристали, які не змочуються водою. Дуже тугоплавкий, з температурою плавлення 4000 °С. Не проводить електричного струму, але добре проводить тепло. Якщо діяти на діамант рентгенівським чи ультрафіолетовим промінням, то він світиться блакитним або жовтим світлом. Характерною властивістю алмазу є здатність добре заломлювати світло, розкладаючи його на цілий спектр кольорів. Завдяки цьому алмази застосовують у ювелірній справі. Алмази не розчиняються ні в кислотах, ні в інших сильних розчинниках.

Елементарна комірка просторової кристалічної ґратки алмазу є гранецентрований куб з 4 додатковими атомами, розташованими всередині куба, на 1/4 великих діагоналей. Розмір ребра елементарної комірки $a_0=0,357$ нм (при $t=250$ °С і $P=1$ атм).

Найкоротша відстань між двома сусідніми атомами $c = 0,154$ нм. Атоми вуглецю в структурі алмазу утворюють міцні ковалентні зв'язки з чотирма сусідніми атомами, скеровані під кутом $109^{\circ}28'$ відносно один одного.

Хімічний склад алмазів може бути складним:

У алмазі, особливо природньому, можуть бути присутні домішки Si, Al, Mg, Ca, Na, Ba, Mn, Fe, Cr, Ti, B та ін. елементів. Нітроген є головною домішкою, що найбільше впливає на фізичні властивості алмазу. Кристали алмазу, непрозорі до УФ випромінення, називаються алмазами I типу; всі інші належать до типу II. Вміст азоту в переважній більшості кристалів алмазу, що належать до типу I, становить близько 0,25 %. Рідше зустрічаються безазотні алмази, що належать до типу II, в яких домішки азоту не перевищують 0,001 %. Азот ізоморфно входить в структуру алмазу і утворює самостійно або в сукупності із структурними дефектами (вакансіями, дислокаціями) центри, відповідальні за

забарвлення, люмінесценцію, поглинання в УФ, видимій, інфрачервоній і мікрохвильовій областях, характер розсіювання рентгенівських променів.

Більша частина алмазів зустрічається в природі у вигляді окремих добре сформованих кристалів або їх уламків. Переважають октаедри, ромбододекаедри та куби, а також їх комбінації. Це кристали з рівними плоскими гранями. Іноді зустрічаються кривогранні, округлі кристали, в деяких родовищах вони навіть переважають.

Графіт:

Гібридизацію однієї s - і двох p -орбіталей називають sp^2 -гібридизацією. Утворені при цьому три орбіталі є sp^2 -гібридними орбіталями. Вони розташовані в одній площині з кутом між орбіталями 120° . Перпендикулярно до них розташована негібридна p -орбіталь. Описана структура є структурою графіту.

Графіт має шароподібну структуру, де атоми вуглецю утворюють плоскі графенові листи. Кожен атом вуглецю сполучений з трьома іншими атомами вуглецю гібридизованими зразками, утворюючи шестикутні кільця.

Ці графенові листи слабко зв'язані між собою слабкими ван-дер-Ваальсовими силами, що дозволяє їм ковзати один відносно іншого, надаючи графіту його характерні властивості. Загалом, атоми вуглецю у молекулах карбону не мають великої тенденції до іонізації або втрати електронів під впливом радіації. Однак ступінь радіаційної стійкості також може залежати від конкретної структури та умов оточення.

Як і в алмазі, у графіті кожен атом вуглецю утворює один з одним чотири зв'язки. Однак ці зв'язки не однакові. Три з них є **σ -зв'язками**, утвореними в результаті перекривання sp^2 -орбіталей атомів вуглецю. Усі вони розташовуються в одній площині під кутом 120° , утворюючи безперервну пласку сітку, що складається з правильних шестикутників, у кутах яких знаходяться

атоми вуглецю. Четвертий π -зв'язок утворюється за рахунок перекривання пелюстків р-орбіталей вище і нижче площини, у якій розташовані атоми вуглецю. π -зв'язок утворює суцільну електронну хмару по всьому шару атомів вуглецю, як і у випадку металевого зв'язку. Вуглецеві шари графіту пов'язані дуже слабкими силами міжмолекулярної взаємодії. Ці особливості будови графіту й обумовлюють такі його властивості, як електропровідність, шаруватість тощо.

Особливості кристалічної структури графіту та незначна величина сил зчеплення між його шарами зумовлюють ковзання шарів один щодо одного навіть при малих значеннях напруг зсуву в напрямку ковзання. Це дозволяє використовувати вуглеграфітові матеріали як антифрикційні за рахунок низьких сил зчеплення між дотичними поверхнями.

З іншого боку, відсутність міцних міжшарових зв'язків у графіті полегшує відділення його частинок від деталей, що труться. Це обумовлює зменшення їх зносу.

Графіт і алмаз – дві найбільш відомі алотропні видозміни карбону мають анізотропні і ізотропні (відповідно) властивості.

Як для ізотропного алмазу, так і для анізотропного графіту температурна залежність теплопровідності має максимум, положення, рівень якого визначається низкою не до кінця з'ясованих факторів, зокрема розміром зразка, величиною й орієнтацією в ньому кристалітів та ін. Положення максимуму теплопровідності природного графіту знаходиться в області $T=120-200$ К. Існує встановлений емпіричним шляхом зв'язок між теплопровідністю й електропровідністю графіту. При температурах, близьких до кімнатних, він виражається рівнянням:

$$\lambda \cdot \rho = \text{const},$$

де ρ — електроопір, λ — теплопровідність.

Графен:

Графен – це двовимірний матеріал (можна сказати моноатомний шар графіту) моноатомний шар атомів вуглецю із гексагональною структурою.

Графен має двовимірну структуру, з товщиною рівною одному шару атомів, та унікальні електронні, механічні, оптичні і теплові властивості. Оксид графену можна вважати похідною від нестехіометричного оксиду графіту - це двовимірний лист вуглецю з різними кисневмісними функціональними групами на своїй базисній площині і периферії, завтовшки близько 1 нм і поперечними розмірами, що варіюють від декількох нанометрів до декількох мікрон. Див. Рис 1.

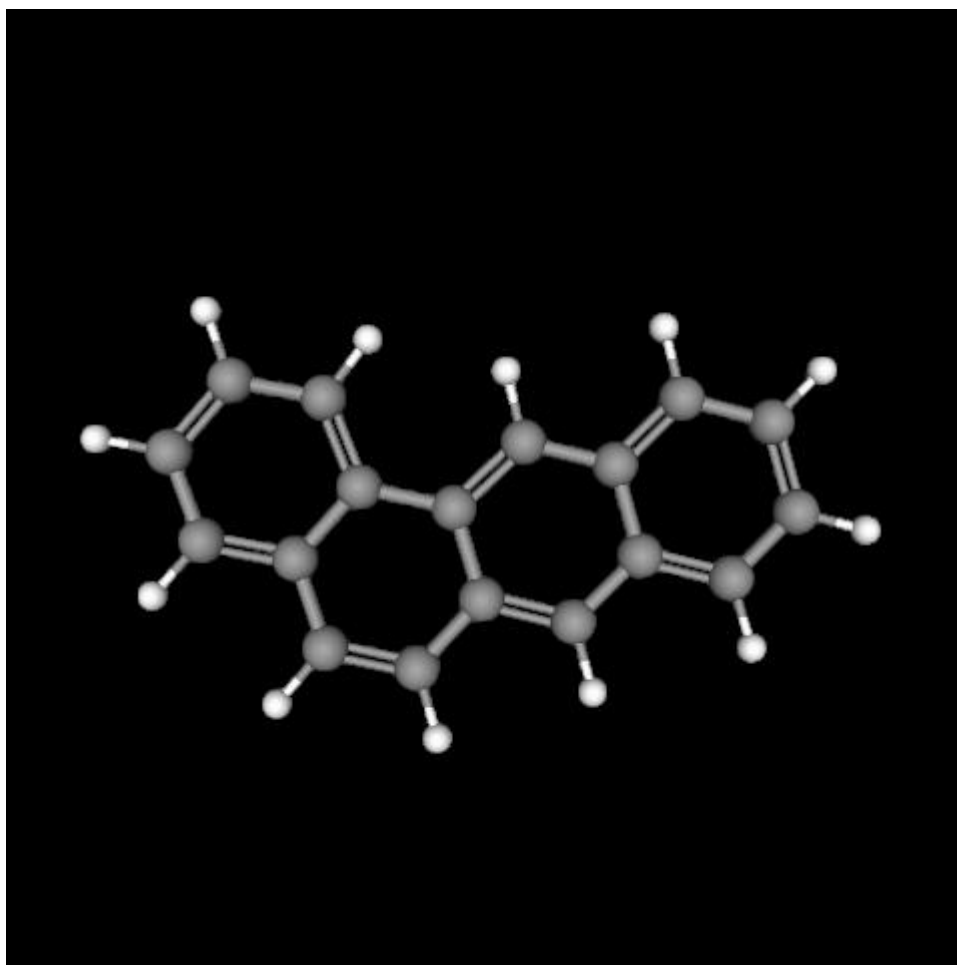


Рис.1.Фрагмент шару графену

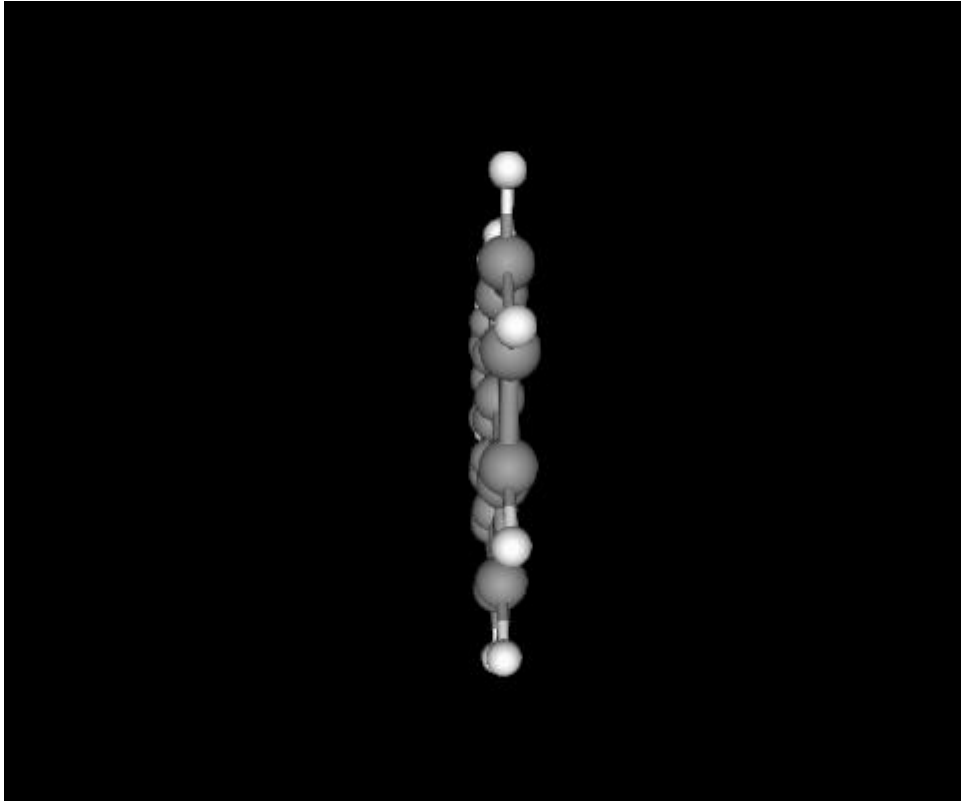


Рис.2.Фрагмент шару графену (вигляд збоку)

На сучасному етапі синтез окисненого графену здійснюють шляхом окиснення порошку графіту з утворенням оксиду графіту, а потім розшаровують шари окисненого графіту у різних розчинниках. Найважливішим є вибір відповідних окиснювачів графіту. На сьогодні це різні сильні окисники (H_2SO_4 , HNO_3 , KMnO_4 , KClO_3 , NaClO_2). Дані методи синтезу є тривалими (до декількох днів) і передбачають використання концентрованих кислот. Тобто пошук альтернативних методів і способів синтезу окисненого графену, такий як термоліз сахаридів, є актуальним і може стати проривом у даній галузі матеріалознавства. При цьому, пропонований нами метод не вимагає використання для синтезу окисненого графену агресивних мінеральних кислот, чи прекурсорів, таких як KMnO_4 . Одним із найбільш інформативних методів аналізу структури карбонових матеріалів на даний час є Раманівська спектроскопія. Згідно з роботами [1] навіть двокомпонентна модель, що описує лише D- та G- смуги Раманівського спектру вуглецевого матеріалу, дозволяє

спрощено оцінювати ступінь графітизації та концентрацію дефектів, надаючи можливість швидко оцінити рівень структурного розвпорядкування за відношенням інтегральних інтенсивностей спектральних смуг I_D та I_G

Не зважаючи на високий інтерес науковців до графену і окисненого графену, багато властивостей даного матеріалу ще не до кінця вивчені.

У графена відсутня заборонена зона. Її ширина дорівнює нулю.

Загальна характеристика графену:

Графен, як було зазначено вище, схожий за своєю будовою на окремий атомний шар у структурі графіту — атоми вуглецю утворюють стільникову структуру з міжатомною відстанню 0,142 нм. Без опори графен має тенденцію згортатися, але може бути стійким на підкладці. Більше того, графен був отриманий також без підкладки у вільному підвішеному стані, розтягнутий на опорах. Графен можна уявити у вигляді «розгорнутої» вуглецевої нанотрубки. Підвищена мобільність електронів переводить його в розряд найперспективніших матеріалів для наноелектроніки. Особливістю графену є його зонна структура із законом дисперсії, що за формою є аналогічним закону дисперсії релятивістських квантових частинок. Елементарні збудження в графені описуються рівняннями аналогічними рівнянню Дірака.

Оскільки з моменту одержання графену пройшло небагато часу, його властивості поки що вивчені не дуже добре. Але перші цікаві результати експериментів вже є.

Електронні властивості:

За своїми електронними властивостями графен відрізняється від тривимірного графіту. Його можна охарактеризувати як напівметал, або ж як надпровідник із нульовою шириною забороненої зони. Зона провідності та валентна зона графену змикаються, але не в центрі зони Брілюена, а в особливих точках на її краях. Ци x точок шість, вони попарно еквівалентні, їх називають *точками Дірака*. Як наслідок, зони непараболічні, ефективна маса носіїв заряду дорівнює

нулю. Наближене квантове рівняння руху, що описує електронні збудження в графені, має форму, схожу на релятивістське рівняння Дірака.

1.2. Нанотрубки карбону, фулерени

Нанотрубки:

Нанотрубки — це циліндричні структури, утворені з листів графену, які скручуються. Вони можуть мати один чи багато шарів і мати діаметр порядку нанометрів. Нанотрубки мають унікальні електронні, механічні та теплопередавальні властивості.

Міцнісні властивості. Нанотрубки дуже міцні як на розтяг, так і на згинання – модуль пружності вздовж осі трубки складає 7000 ГПа, тоді як для легованої сталі і найбільш пружного металу ітрію відповідно 200 і 520 ГПа.

Адсорбція газів нанотрубками може відбуватися на зовнішніх і внутрішніх поверхнях, а також у міжтрубному просторі. Так, експериментальне вивчення адсорбції азоту при температурі 77 К на багатошарових трубках із мезопорами завширшки $4,0 \pm 0,8$ нм показало, що на внутрішній поверхні адсорбується у 5 разів більше частинок, ніж на зовнішній, а ізотерми цих процесів мають різний вигляд. Адсорбція у мезопорах загалом відбувається за класичною теорією капілярної конденсації, а обчислений діаметр пор дорівнює 4,5 нм.

Певна специфічність процесу пов'язана із тим, що трубки відкриті тільки з одного кінця. Зростки одношарових нанотрубок добре адсорбують азот. Вихідні очищені трубки мали внутрішню питому поверхню $233 \text{ м}^2/\text{г}$, зовнішню – $143 \text{ м}^2/\text{г}$. Обробка нанотрубок соляною та азотною кислотами збільшувала сумарну питому поверхню і збільшувала адсорбційну ємність за бензолом та метанолом.

Класифікація нанотрубок

Як впливає з визначення, основна класифікація нанотрубок проводиться за способом згортання графітової площини. Цей спосіб згортання визначається

двома числами n і m , які задають розкладання напрямку згортання на вектора трансляції графітових ґраток.

За значенням параметрів (n, m) розрізняють: прямі нанотрубки (ахіральні); кріслоподібні нанотрубки (armchair) $n=m$; зигзагоподібні (zigzag) $m=0$ або $n=0$;

Та хіральні, або спіральні нанотрубки

Як неважко здогадатися, при дзеркальному відображенні (n, m) нанотрубка переходить в (m, n) нанотрубку, тому, трубка загального вигляду дзеркально несиметрична. Прямі ж нанотрубки або переходять в себе при дзеркальному відображенні (конфігурація «крісло»), або переходять в себе з точністю до повороту.

Розрізняють металеві і напівпровідникові нанотрубки. Металеві нанотрубки проводять електричний струм навіть при абсолютному нулі температур, тоді як провідність напівпровідникових трубок рівна нулю при абсолютному нулі і зростає при підвищенні температури. Технічно кажучи у напівпровідникових трубок існує заборонена зона. Трубка виявляється металевою, якщо $n-m$ ділиться на 3. Зокрема, металевими є всі трубки типу «крісло».

Фулерени:

Фулерен — це особлива форма вуглецю, у якій атоми розташовані у вигляді порожнистих сфер, еліпсоїдів або трубок. Найвідоміший із них — фулерен C_{60} — має форму, що нагадує футбольний м'яч. У цій формі 60 атомів вуглецю утворюють 20 шестикутників і 12 п'ятикутників, створюючи геодезичну сферу.

Ці структури були відкриті у 1985 році, і це відкриття стало справжньою сенсацією, принісши авторам Нобелівську премію з хімії в 1996 році. Фулерени мають унікальні фізико-хімічні властивості: вони можуть діяти як надпровідники, каталізатори, антиоксиданти, і навіть мають потенціал у медицині для доставки ліків або боротьби з вірусами.

Цікаво, що фулерени можуть також існувати в природі — їх знаходили в зразках метеоритів і навіть у міжзоряному просторі. Це додає їм ще більшого наукового шарму.

Існує багато різновидів фулеренів, і вони класифікуються за кількістю атомів вуглецю в молекулі. Найвідоміші з них:

- C_{60} — класичний фулерен у формі футбольного м'яча. Його часто називають «бакіболом» на честь Бакмінстера Фуллера.
- C_{70} — подовжена версія C_{60} , що має форму еліпсоїда або схожа на регбійний м'яч.
- C_{76} , C_{84} , C_{90} — інші фулерени з більшою кількістю атомів, що мають складніші геометричні форми.
- **Металофулерени** — фулерени, всередині яких «захований» атом металу, наприклад, $Sc_3N@C_{80}$. Вони мають цікаві електричні та магнітні властивості.
- **Ендоедральні фулерени** — класи фулеренів, у яких всередині кулі можуть бути не тільки метали, але й інші атоми чи навіть кластери атомів.

Кожен із цих видів має свої унікальні властивості й потенціал застосування — від медицини до електроніки і нанотехнологій.

Внутрішня порожнина фулерену $C_{60} = 0,5$ нм. Зовнішній діаметр $0,71$ нм. Більш того, метод синтезу фулеренів добре відомий і дуже відрізняється від описаного синтезу графену чи діаманту (діаманти також бувають синтетичні). Синтез фулеренів проводиться при більш високих температурах в атмосфері інертних газів. Замісники з кисневими групами в фулеренах неможливі. І, зрештою, спектри Рамана фулеренів відрізняються від раманівських спектрів інших карбонових матеріалів.

Раманівські спектри різних алотропних видозмін карбону наведені на рисунку нижче:

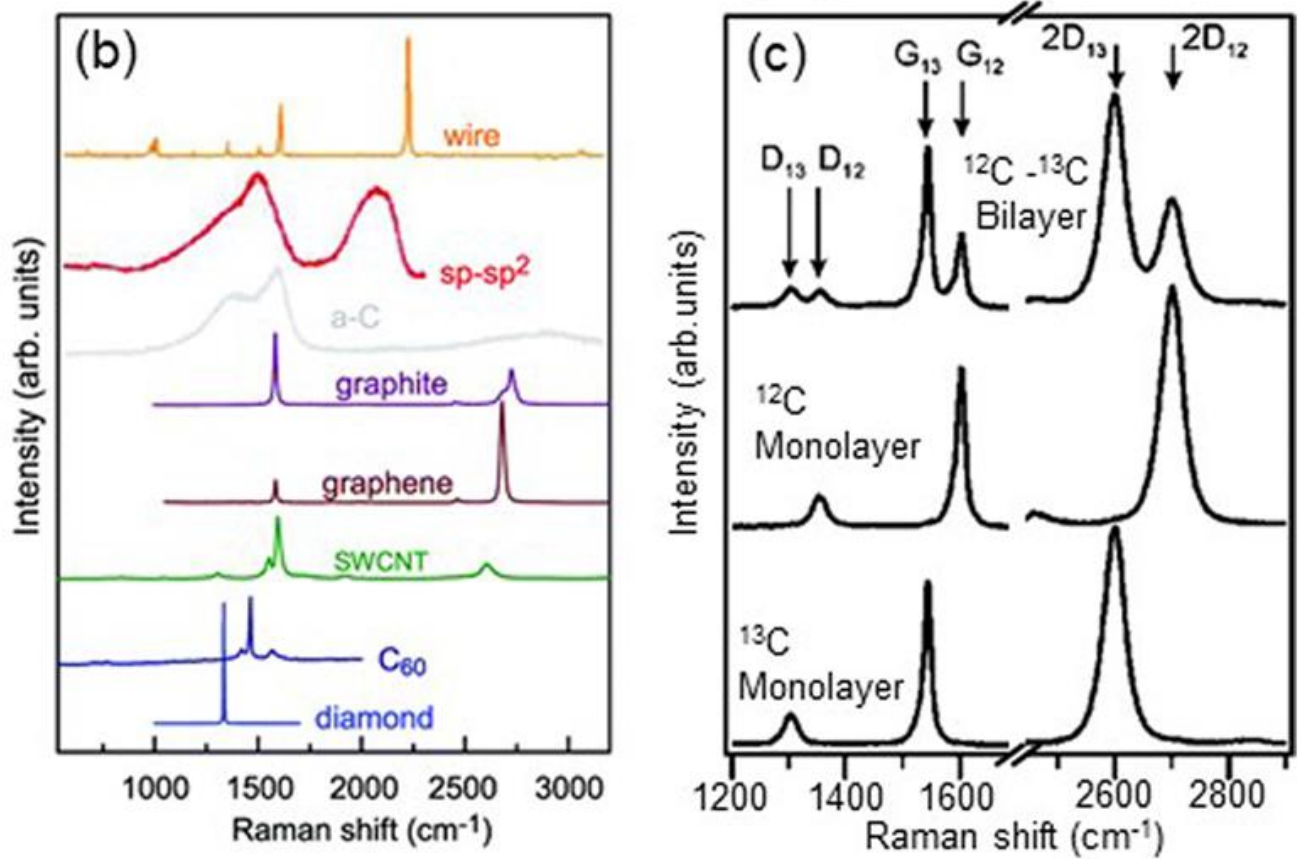


Рис.3..Раманівські спектри різних алотропних форм карбону. Адаптовано із літератури [1].

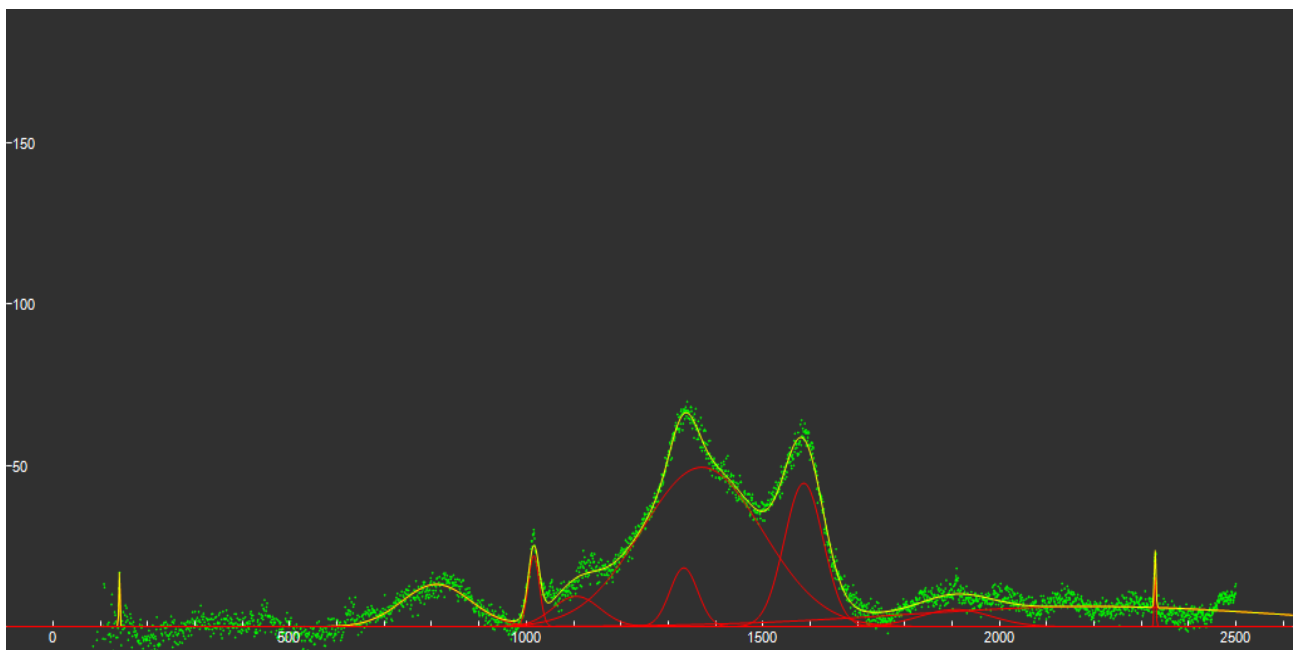


Рис.4. Раманівський спектр окисненого графену, зроблений в Лабораторії колективного користування ДВНЗ «Ужгородський національний університет»

Характеристики Раманівського спектрометра в ДВНЗ «Ужгородський Національний університет». У дослідженнях використовували Раманівський спектрометр XploRA PLUS встановлений Центрі колективного користування науковим обладнанням «Лабораторія експериментальної і прикладної фізики» ДВНЗ «УжНУ». Раманівську спектрометрію проводили з використанням зеленого лазера довжиною 532 нм. Потужність лазера 100мВт. Сканування зразків проводили з 1% та 10 % потужності, використовуючи мінімум 10 сканів (1 скан/2 секунди) [1].

Теорем під ім'ям Ейлера є кілька, залежно від галузі математики, у даному випадку застосовною є теорема Ейлера про многогранники:

Теорема Ейлера про многогранники:

$$V - E + F = 2$$

Де V — кількість вершин, E — кількість ребер, а F — кількість граней опуклого многогранника. Це класична формула, що працює для будь-якого опуклого многогранника.

Теорема Ейлера про многогранники стверджує, що отримати закритий поліедр з трикоординованими вершинами можливо, якщо введено дванадцять пентагонів, незалежно від кількості шестикутних граней.

Це означає, що мінімальний розмір фулерену формально є додекаедр C_{20} . Однак кривизна таких структур з невеликою кількістю атомів вуглецю є високою, і тому для sp^2 -гибридного стану це не дуже енергетично вигідно, оскільки вуглець віддає перевагу пласкій координації. Саме тому найменшим чистим фулереном, який був отриманий, є C_{60} , що має укорочену правильну ікосадекаедричну структуру. У ньому всі пентагональні грані розділені гексагональними гранями. У хімії фулеренів цей факт називається правилом ізольованих пентагонів, і кожен доступний фулерент підпорядковується йому.

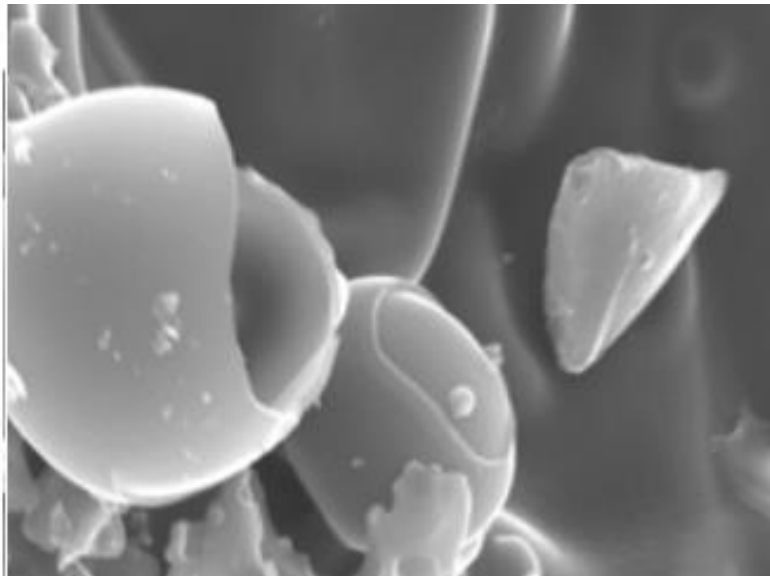


Рис. 5. Карбонові кульки Графену та Фулерену SEM зображення, за даними роботи [2].

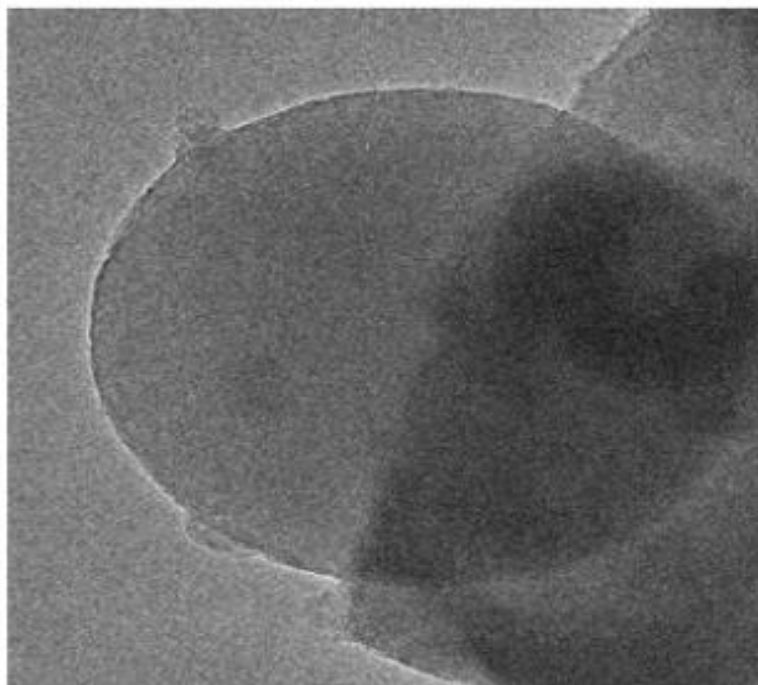


Рис. 6. Зображення у тренсмісійний електронний мікроскоп кульок графену за даними роботи [2]

Фулерени в лабораторії отримують за допомогою методів, які імітують умови надзвичайно високих температур — подібних до тих, що виникають при згорянні вуглецю або внаслідок ударів метеоритів. Ось найпоширеніші з них:

- **Метод дугового розряду:** між двома графітовими електродами створюється електрична дуга в середовищі гелію. В результаті графіт випаровується, утворюючи сажу, яка містить фулерени. Цей метод дозволив уперше отримати C_{60} .
- **Лазерна абляція:** лазер випаровує мішень із графіту, а утворена плазма конденсується, утворюючи фулерени. Метод високотехнологічний, але менш продуктивний.
- **Згоряння вуглеводнів:** при контрольованому згорянні бензолу або ацетилену в умовах недостатньої кількості кисню утворюється сажа, що містить фулерени.

Після утворення сажу збирають і очищають. Для цього використовують органічні розчинники, наприклад бензол або толуол, у яких фулерени добре розчиняються. Потім проводять хроматографію для виділення окремих типів молекул, таких як C_{60} чи C_{70} .

Цей процес схожий на алхімію 21 століття — із хаосу вуглецю народжуються молекулярні шедеври. Якщо цікаво, можу розповісти, як ці фулерени потім досліджують або застосовують у науці й техніці.

Застосування

Фулерени мають широкий спектр застосувань завдяки своїм унікальним властивостям — структурі, електропровідності, стабільності та здатності взаємодіяти з іншими молекулами. Ось кілька ключових напрямів:

- **Застосування фулеренів у медицині:** фулерени досліджують як *антиоксиданти*, що нейтралізують вільні радикали, а також як носії ліків,

здатні проникати в клітини і точно доставляти препарати до мішені (наприклад, у боротьбі з раком або вірусами).

- **Застосування фулеренів у електроніці:** їх використовують у виготовленні *органічних сонячних батарей, світлодіодів (OLED), та транзисторів*. Вони мають добрі напівпровідникові властивості.
- **Актуальність використання фулеренів у матеріалознавстві:** фулерени можуть зміцнювати *композитні матеріали*, роблячи їх легшими та міцнішими і більш радіаційно-стійкими. Це є дуже перспективним для досліджень космосу, тобто астрономічних досліджень, військової і оборонної галузі, енергетики, тощо.
- **Застосування фулеренів для розвитку нанотехнологій:** завдяки своїм розмірам та формі, вони ідеальні «цеглинки» для створення *наномашин, сенсорів, або мініатюрних пристроїв*. Деякі фулерени мають здатність змінювати свої оптичні властивості під дією світла — це використовується у створенні *оптичних перемикачів і лізерних середовищ*.
- **Енергозберігаючі пристрої і пристрої для накопичення енергії:** є розробки із застосуванням фулеренів у *суперконденсаторах та літій-іонних батареях* для підвищення ємності та тривалості служби.

І це ще далеко не все — ця сфера активно розвивається. У літературі описана велика кількість композиційних адсорбентів на основі оксиду графену, зокрема для адсорбції катіонів важких металів і радіонуклідів, таких, як стронцій, кобальт тощо [2*]. Однак, на нашу думку поки що є не дослідженими в повній мірі адсорбційні властивості самого окисненого графену. В даній роботі нами проведені дослідження адсорбції аніонів йоду окисненим графеном, який здатний поглинати аніони йоду. Йод є необхідним елементом для здорового розвитку та функціонування людського організму. Разом з тим, необхідно зазначити, що саме радіоактивні ізотопи йоду створюють основну небезпеку у перші години ядерних аварій, вибухів ядерної зброї або різноманітних терактів за участі ядерних пристроїв. У такому випадку існує велика загроза накопичення

даних радіонуклідів щитовидною залозою. Саме з цим пов'язана підвищена небезпека радіоактивних ізотопів йоду і необхідність їх вловлювання і концентрування. Існує велика кількість робіт, які рапортують про високу адсорбцію молекулярного йоду композиційними адсорбентами на основі активованого карбону. Однак, як відомо, при ініційованому поділі ядер урану (основна реакція в атомній енергетиці, а також при вибухах ядерної зброї) утворюється не молекулярний йод, а аніони йоду. При цьому, автори даної публікації стверджують, що аніони йоду не адсорбуються різними видами активованого карбону. Адсорбція починається тільки після додавання органічних хлорвмісних компонентів. Всі перераховані факти зумовлюють пошук нових, хімічно і радіаційно стійких матеріалів для адсорбції і концентрування аніонів йоду.

Історія відкриття фулерену незвичайна. У 1973 вчені Д.А. Бочвар і Е. Н. Гальперін опублікували результати квантово-хімічних розрахунків з яких випливало, що повинна існувати стійка форма вуглецю, яка містить у молекулі 60 вуглецевих атомів і не має жодних замісників. У тій же статті була запропонована форма такої гіпотетичної молекули. Висновки цієї роботи здавалися в той час зовсім фантастичними. Ніхто не міг собі уявити, що така молекула може існувати, і, тим більше — не уявлявся спосіб її одержання.

Ця теоретична робота трохи випередила свій час і була спочатку просто забута. У 1980 -их роках астрофізичні дослідження дозволили встановити, що в спектрах деяких зірок, так званих «червоних гігантах», виявлені смуги, що вказують на існування чисто вуглецевих молекул різного розміру. У 1985 англійські вчені Гарольд Крото і Річард Смоллі почали проводити дослідження вже в «земних» умовах. Вони вивчали мас-спектри пари графіту, отриманих під ударом лазерного променя, і виявили, що в спектрах є два сигнали, інтенсивність яких набагато вища, ніж всіх інших. Сигнали відповідали масам 720 і 840, що вказувало на існування великих агрегатів з вуглецевих атомів — C_{60} і C_{70} . Мас-спектри дозволяють установити лише молекулярну

масу частинки і не більш того, однак цього виявилось досить, щоб фантазія вчених запрацювала. У підсумку була запропонована структура багатогранника, зібраного з п'яти — і шестикутників.

Вміст фулеренів у сажі, яка утворюється, досягає 44 %. Існують схеми синтезу фулерену засобами органічної хімії, але вони поки що не реалізовані.

Відкриття фулерену буквально приголомшило хіміків. Здавалося, що про елементарний вуглець відомо практично усе. Від інших алотропних модифікацій вуглецю фулерен відрізняється насамперед тим, що це індивідуальні кінцеві молекули, що мають замкнуту форму. Фулерен на відміну від відомих раніше трьох форм вуглецю розчинний в органічних розчинниках. З розчинів фулерен кристалізується у виді дрібних темно-коричневих кристалів.

Для рентгеноструктурного аналізу вони не придатні, тому що через сферичну форму молекул їхня структура невпорядкована. Побачити молекулу фулерена «своїми очима» вдалося далеко не відразу, лише після того, як був отриманий продукт взаємодії фулерена з тетраоксидом осмію OsO_4 у присутності третбутилпіридину, який добре кристалізується. Чотиривалентність вуглецю у формулі фулерена повністю виконується. Правильніше зображувати фулерен у вигляді каркаса з простими короткими зв'язками, що чергуються, але частіше застосовують спрощене зображення, де каркас складається з одинарних рисок. Ще одна незвичайна структурна особливість фулерену полягає в тому, що його молекула має внутрішню порожнину, діаметр якої приблизно 0,5 нм. Зовнішній діаметр самої молекули 0,71 нм. Внутрішній діаметр, природно, менше зовнішнього, оскільки атоми вуглецю і їхні електронні оболонки теж мають певний розмір.

РОЗДІЛ 2. Особливості викладання фізики у середній школі

Завжди у закладах освіти були різні особливості викладання уроків, і наш час не став виключенням. У нашому технологічному світі таких особливостей стало тільки більше. З розвитком сучасних технологій яскраві короткі відео в соціальних мережах відволікають увагу підлітків і тому доводиться за неї боротися. Таким чином сучасний вчитель має бути відразу готовим до зустрічі з можливими труднощами на своєму шляху. Викладання фізики дітям це складне завдання. Крім того, на фізику виділено небагато годин, До речі, у 10 класі фізика часто викладається разом з астрономією як інтегрований курс — «Фізика і астрономія». Вирішення цього завдання вимагає врахування вікових, психологічних та пізнавальних характеристик учнів. Ось кілька моментів, які допоможуть популяризувати науку «фізика» серед учнів середніх і старших класів:

2.1. Особливості світосприйняття підлітків

1. **Візуалізація:** Молодші учні краще сприймають інформацію через конкретні приклади, досліди та візуалізацію. Використання моделей, малюнків, відео та анімацій значно підвищує розуміння абстрактних понять.
2. **Поєднання навчання з грою.** Оскільки школярі звикли до відеоігор і не уявляють собі без них життя, то в нагоді стануть програмні застосунки для навчання фізики: Для молодших школярів важливо поєднувати навчання з грою. Рухатись, а не зазубрювати за партою закони фізики.
3. **Підсилена мотивація:** Діти краще запам'ятовують матеріал і більш успішно навчаються, коли бачать приклади фізиків, які стали успішними

людьми, або бачать, як фізика проявляється в повсякденному житті — чому літає літак, як працює мікрохвильовка, чому веселка має кольори.

Наприклад

Фізика у медицині

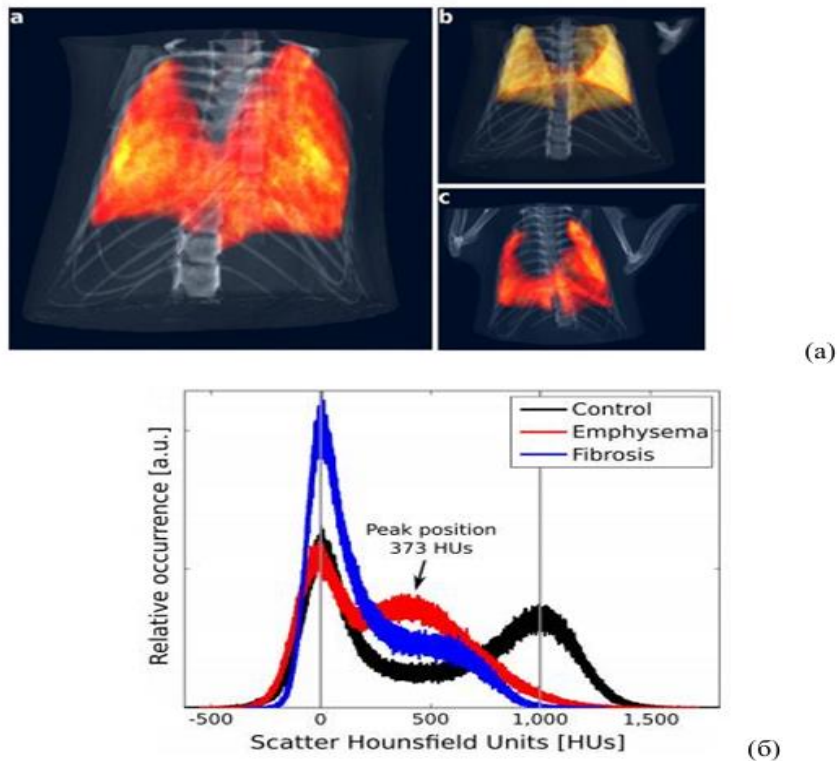


Рис. 7. Використання фізики у медицині

Адаптовано із ресурсу [3] (а) Легенева тканина мишок а- з емфіземою; б- контрольна і с-фіброзна здійснена в темному фоні і представлена напівпрозорою картою гарячих кольорів Візуалізація показує об'ємний розподіл ослабленого сигналу і його знижену однорідність у хворих легенях. (б) Гістограма дослідних мишок у одиницях Хаунсфільда за даними літератури [3].

Фізика у комунікаціях

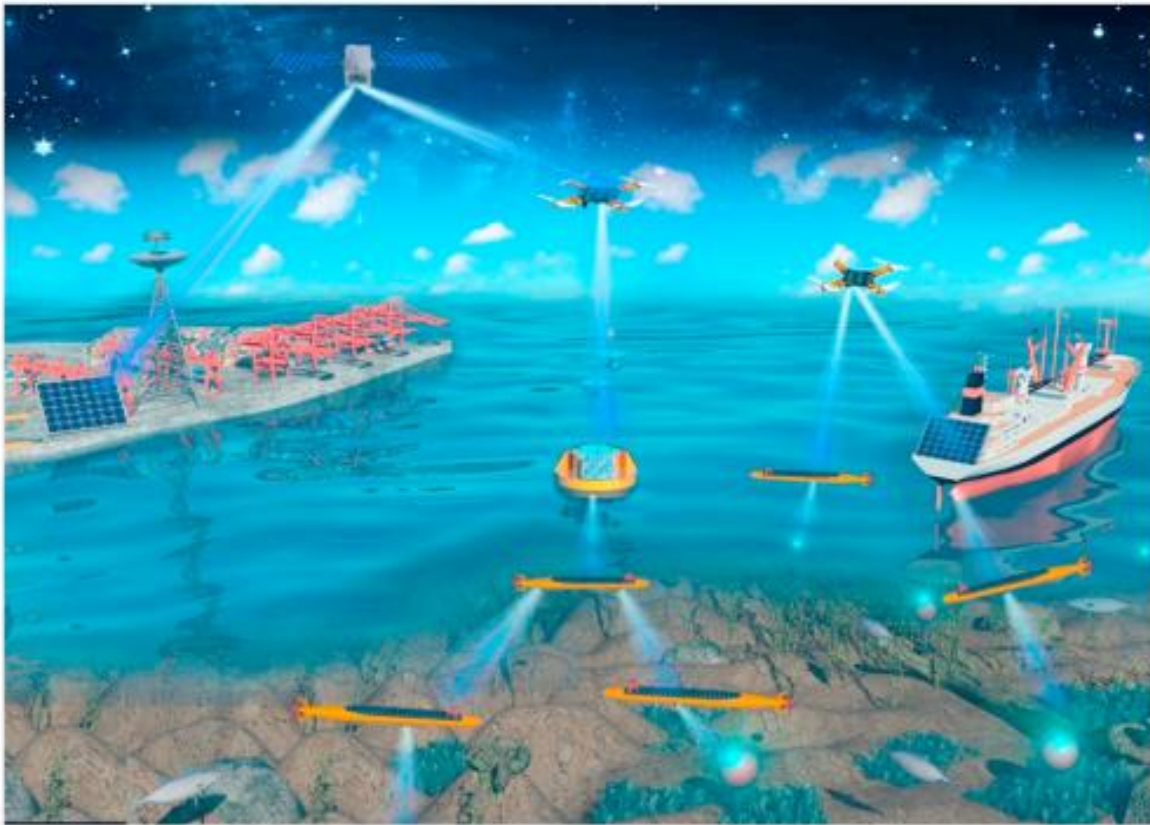


Рис.8. Приклад використання FSO зв'язку над поверхнею моря. Адаптовано із ресурсу [4].

1. **Формування дослідницьких навичок:** Під керівництвом учителя учні можуть самостійно робити прості експерименти, це допомагає розвинути творчість і креативність.
2. **Доступна проста мова викладання:** Важливо використовувати доступну мову й уникати надмірної термінології на початковому етапі. Всі явища у фізиці можна пояснити простими словами.

У 10 класі в Україні фізику зазвичай викладають **3 години на тиждень** за програмою рівня стандарту. Це відповідає **105 годинам на навчальний рік**.

2.2. Підвищення мотивації учнів

Мотивація – це покликання до дії. Є два основні види мотивації:

- 1) Зовнішня. Зовнішня мотивація, це зовнішній конструктивний вплив на підлітка, який спонукає його вчитись. Зовнішня мотивація може проявлятися у заохоченні (винагорода за хороші оцінки) та роз'ясненні наслідків невиконання наприклад домашніх завдань (не закріпиш матеріал, не вступиш до університету).
- 2) Внутрішня мотивація. У цьому випадку дитина самостійно спонукає себе до дії (хочу бути фізиком, хочу полетіти в космос, тощо).

Немає сумніву, що у середній школі при вивченні фізики ключовою є саме зовнішня мотивація. При цьому ключову роль відіграє спілкування учителя з учнями.

Вербальне і невербальне спілкування — це два основні способи, якими люди передають інформацію одне одному.

Вербальне спілкування — це спілкування за допомогою слів. Воно може бути:

- Усним — *розмова, виступ, телефонна бесіда;*
- Письмовим — *листування, повідомлення, статті;*
- Жестовим — *наприклад, дактильна мова для людей із порушенням слуху.*

Це спосіб, коли думки кодуються в мовні знаки, а співрозмовник їх розшифровує, розуміє і реагує [5*].

Невербальне спілкування — це передача інформації без слів, через:

- *Жести і міміку;*
- *Мова тіла;*

- *Інтонацію, темп мовлення, погляд;*
- *Фізичну відстань між людьми.*

Цей тип комунікації часто відбувається несвідомо, але він може підсилювати або навіть суперечити вербальному повідомленню. Частково відсутність невербального спілкування у інтернеті компенсується занчками емодзі.

Цікаво, що за деякими дослідженнями, до 70% інформації ми сприймаємо саме через невербальні сигнали [6].

Приклади вербального і невербального спілкування

Вербальне спілкування

- Учитель каже: *"Відкрийте підручники, або дивіться на дошку"*
- Друзі переписуються в месенджері про плани на вихідні.
- Учень захищає проєкт, пояснюючи свої ідеї словами.
- Людина дає коментарі під відео на YouTube.

Невербальне спілкування:

- Учитель піднімає брови й мовчки вказує на годинник — натякаючи, що час закінчується.
- Учень знизує плечима, показуючи, що не знає відповіді.
- Посмішка як вияв вдячності.
- Ритмічне постукування пальцем по столу — ознака нетерпіння.

Варто пам'ятати, що найефективніше спілкування — це коли вербальні та невербальні сигнали *узгоджені*. Якщо ж людина каже "я радий", але виглядає засмучено — тоді сигнал викликає сумніви

Зрозуміло, що під час дистанційного навчання втрачається невербальна складова навчання. Учні дуже часто не розуміють вчителя. Відповідно вчитель не одержує фітбек від учнів через невербальну складову спілкування.

2.3. Вільний програмний застосунок Molview

Підвищенню мотивації навчання учнів сприяє використання сучасних комп'ютерних технологій та інтерактивних моделей навчання, також уроки зі створенням проблемної ситуації на різних етапах; з використанням комп'ютерного тестування, позаурочна робота з виконання проєктів і дослідницьких робіт з використанням ресурсів Інтернет. Серед них програмний застосунок Molview.

Molview — це веб-додаток для малювання хімічних діаграм та перегляду інтерактивних 3D-молекулярних моделей. Він почався в 2012 році як проєкт з відкритим вихідним кодом для середньої школи і досяг глобальної аудиторії студентів, вчителів, авторів, дослідників та ентузіастів науки. У 2024 році додаток був повністю перероблений з нуля, з особливим акцентом на малих органічних молекулах та освіті. У нас є великий досвід роботи з користувальницькими інтерфейсами, інтерактивним 3D-рендерингом та хімічною інформатикою. Місія програмного застосунку, за словами розробників, полягає в створенні цікавих та інтерактивних досвідів для STEM e-Learning.[7]

Програма просто у використанні, безкоштовна, не потребує авторизації і разом з тим вона яскрава і дозволяє роздивитися структуру у 3D проєкції, що допоможе дітям побачити те, що може бути важко уявити.

Правила роботи з програмою:

- 1) Набрати у пошуковій системі її назву англійською мовою

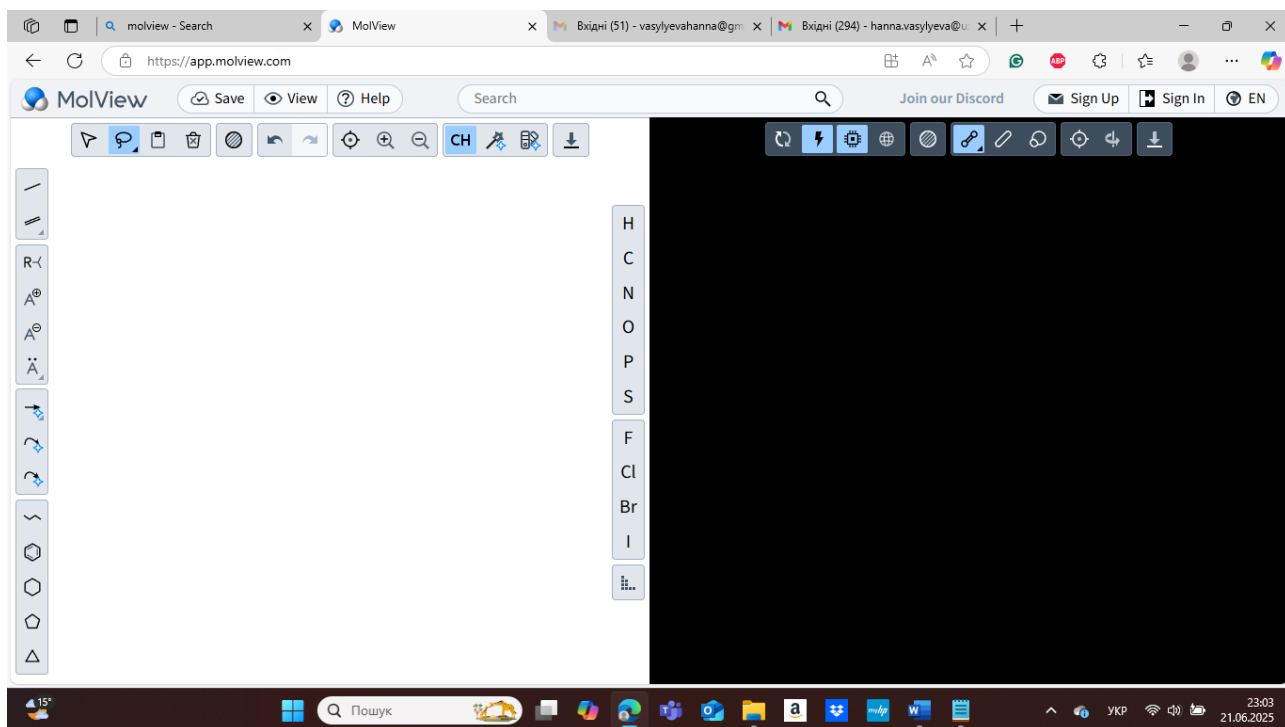


Рис. 9. Зображення інтерфейсу програми.

2) Побудувати потрібну структуру на білому полі, використовуючи інструменти і вбудовані функції програми. Наприклад

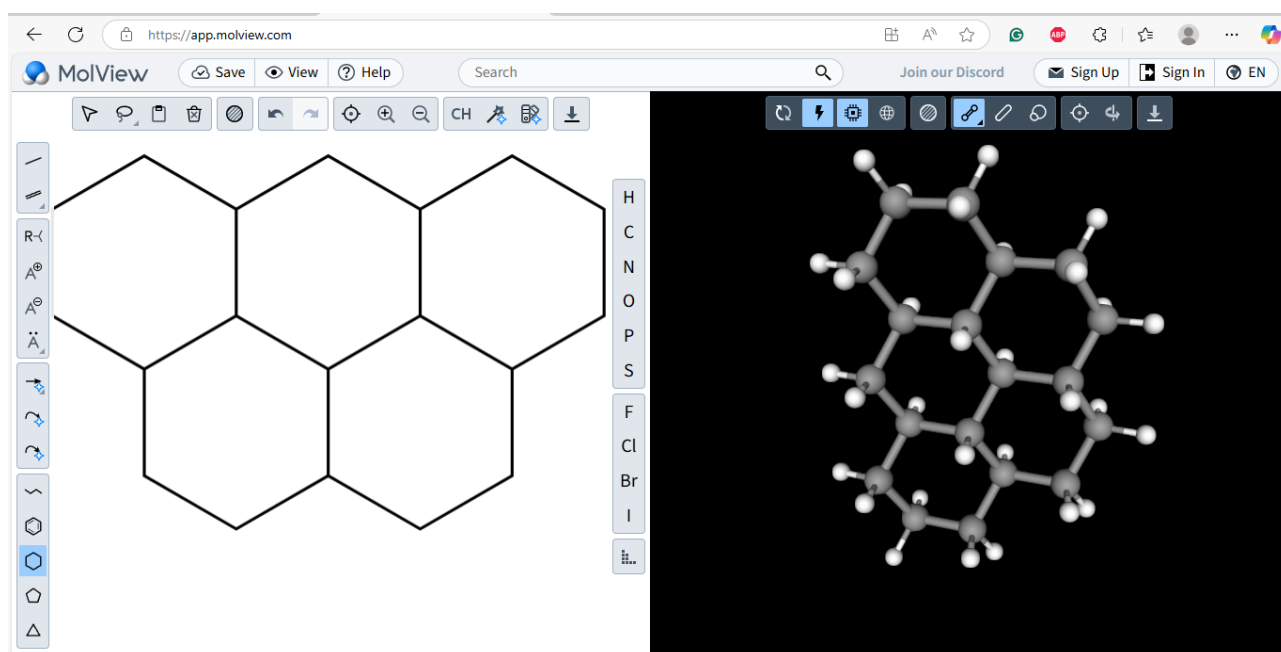


Рис. 10. Використання програмного застосунку

3) Зображення можна завантажити і використати у публікаціях, презентаціях чи лабораторних роботах

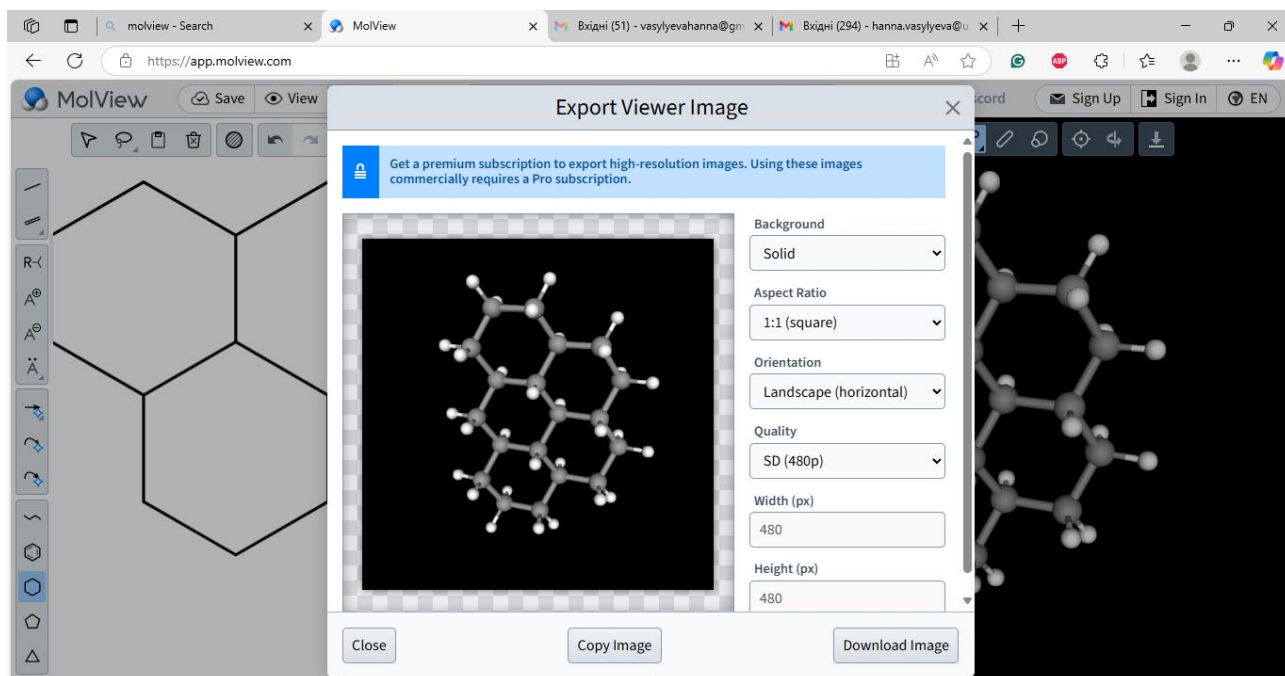


Рис. 11. Приклад збереження і копіювання зображень

4) Використання програмного застосунку для зображення шарів графену

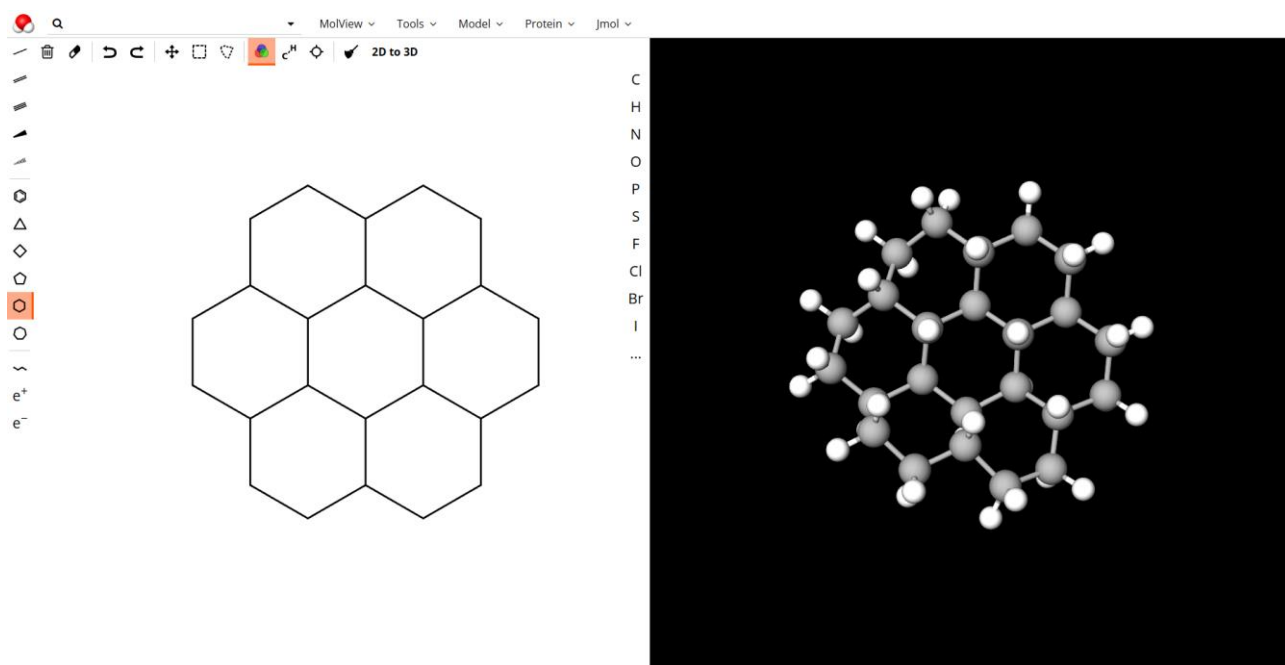


Рис.12. Побудова шару графену за допомогою програмного застосунку

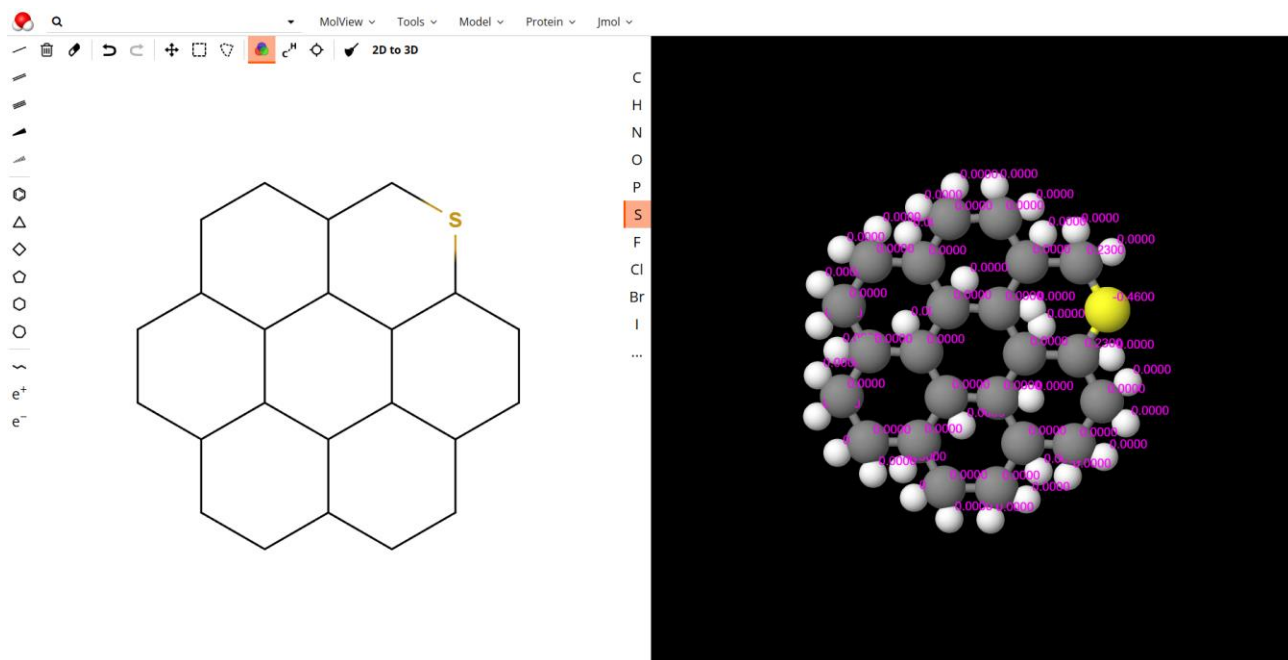
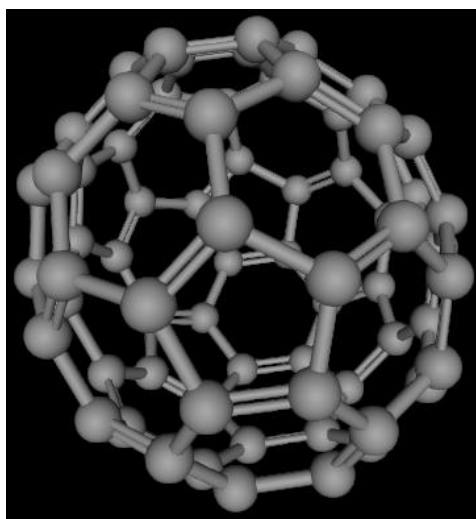
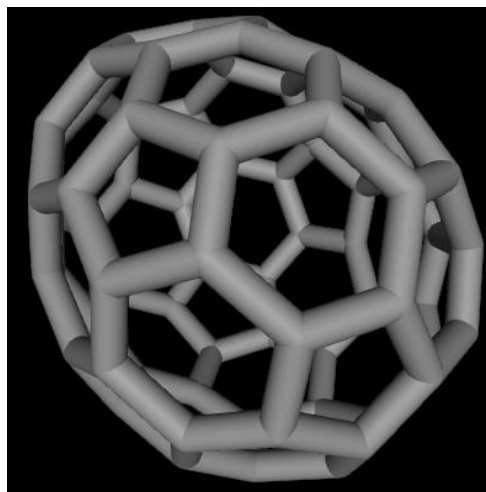


Рис.13. Ілюстрація змін у шарі графену, при введенні у структуру атому сірки (сульфур), та розрахунок електронегативностей атомів у стріктурі з використанням програмного застосунку.

Використання програмного застосунку для зображення Фулеренів



(a)



(б)

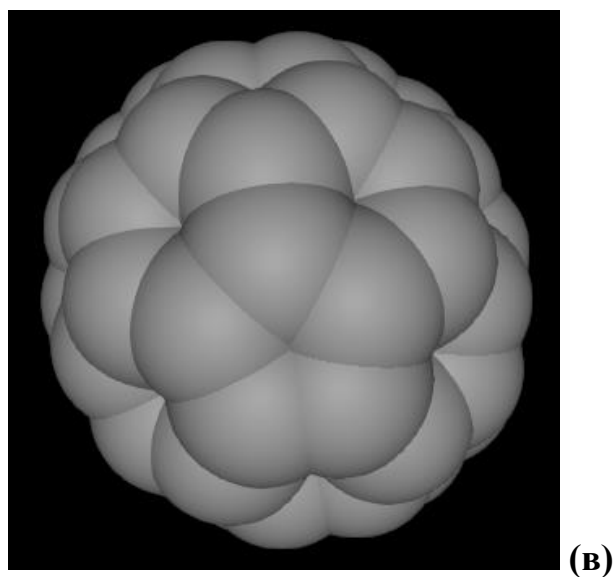
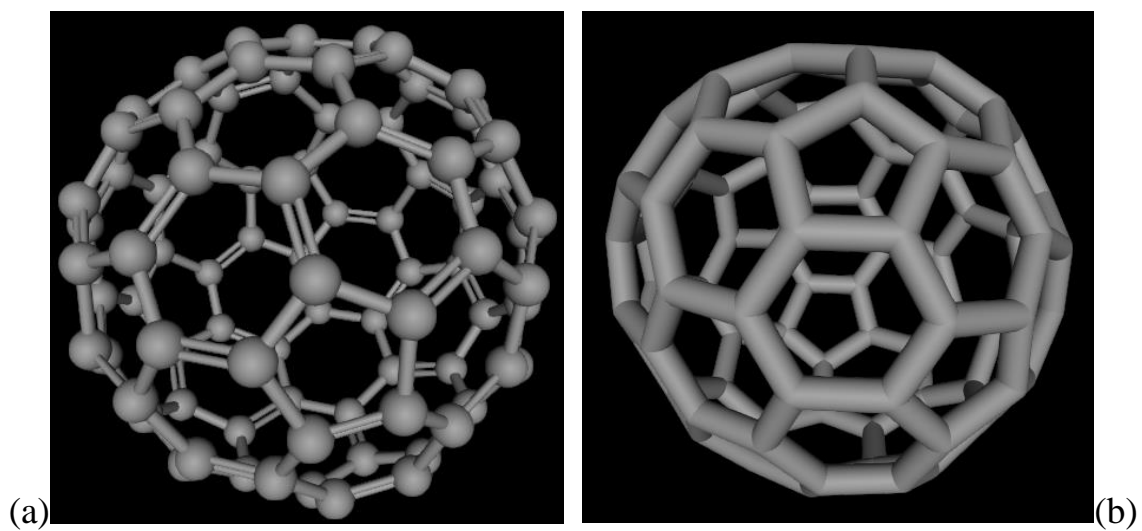
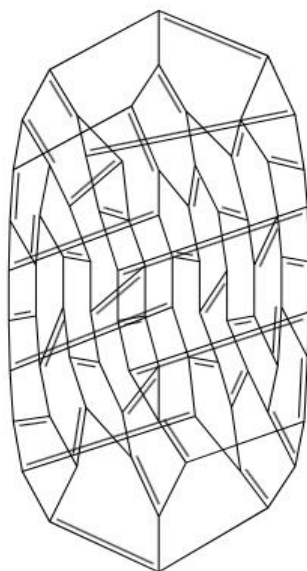


Рис. 14. Різні зображення Фулерену C₆₀, побудовані з використанням програмного застосунку Molview.

Fullerene C₇₀





(c)

Рис.15. (a) Фулерен C₇₀; (b) Фулерен C₇₀; (c) Фулерен C₈₄

ВИСНОВКИ

1. Зроблено огляд літератури, присвяченій даній тематиці.
2. Проаналізовано і описано основні алотропні видозміни карбону, їх особливості будови, властивостей і застосування в науці і техніці. Визначено місце фулеренів серед алотропних видозмін карбону.
3. Зроблено аналіз особливостей підліткового віку і особливостей вивчення фізики у середній школі. Показано, що за увагу учнів потрібно боротись і постійно підвищувати їх мотивацію до навчання.
4. Проведено моделювання просторової структури Фулерену C₆₀ за допомогою вільного програмного застосунку Molview. Показано, що це дуже цікава тема і може бути використана у факультативних заняттях для підвищення мотивації учнів.

ЛІТЕРАТУРНІ ДЖЕРЕЛА

1. Zheling Li, Libo Deng, Ian A. Kinloch, Robert J. Young, Рамановська спектроскопія вуглецевих матеріалів та їх композитів: графен, нанотрубки та волокна, Прогрес у матеріалознавстві, Том 135, 2023, 101089, <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2023.101089>
2. Ivan Mironyuk, Jean-Claude Grivel, Hanna Vasylyeva, Elif Coşkun, Igor Mykytyn, Volodymyr Mandzyuk, Structural-morphological and adsorption properties of hollow balls of oxidized graphene obtained by auto-combustion of saccharose, Nano-Structures & Nano-Objects, Volume 41, 2025, 101462, <https://doi.org/10.1016/j.nanoso.2025.101462>
3. A Velroyen , A Yaroshenko , et al., Grating-based X-ray Dark-field Computed Tomography of Living Mice EBioMedicine 2015 Aug 13;2(10):1500-6. DOI: 10.1016/j.ebiom.2015.08.014
4. Meiwei Kong, Chun Hong Kang, Omar Alkhazragi, Xiaobin Sun, Yujian Guo, Mohammed Sait, Jorge A. Holguin-Lerma, Tien Khee Ng, Boon S. Ooi, Survey of energy-autonomous solar cell receivers for satellite–air–ground–ocean optical wireless communication, Progress in Quantum Electronics, Volume 74, 2020, 100300, ISSN 0079-6727, <https://doi.org/10.1016/j.pquantelec.2020.100300>.
5. <https://moyaosvita.com.ua/psihologija/verbalne-ta-neverbalne-spilkuvannya-porivnyannya/>
6. [Вербальне та невербальне спілкування: знайдіть їх відмінності та приклади](#)
7. [MolView - About](#)
8. Васильєва Г.В., Гайсак І.І., Мартишечкін В.О., Вучкан С.І., Сийка І.Ю. Комп'ютерна томографія і фізичні основи сучасної медичної діагностики <https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/handle/lib/37253>
9. A Young Lee, Kihyuk Yang, Nguyen Duc Anh, Chulho Park, Seung Mi Lee, Tae Geol Lee, Mun Seok Jeong, Raman study of D* band in graphene oxide and its correlation with reduction, Applied Surface Science, Volume 536, 2021, 147990, ISSN 0169-4332, <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2020.147990>
10. NIST Database
11. Oleg Tkachenko, Alina Nikolaichuk, Nataliia Fihurka, Andreas Backhaus, Julie B. Zimmerman, Maria Strømme, Tetyana M. Budnyak. Kraft lignin-derived micro- and mesoporous nitrogen-doped carbon adsorbent for air and water purification <https://doi.org/10.26434/chemrxiv-2023-pg6pq>
12. International Conference on Multifunctional Materials (ICMM-2019) Journal of Physics: Conference Series 1495 (2020) 012012 IOP Publishing doi:10.1088/1742-6596/1495/1/012012
13. <https://moyaosvita.com.ua/psihologija/%E2%9C%85osoblivosti-sprijnyattya-u-pidlitkiv/>
14. <http://fizika-20.blogspot.com/p/20-1-6-2.html>
15. <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D1%80%D0%B0%D1%84%D1%96%D1%82>
16. <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D1%80%D0%B0%D1%84%D0%B5%D0%BD>
17. <https://www.scribd.com/presentation/689585500/>

